

# **ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ФАЗ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛОСЧАТОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 И БРОНЗЫ ПГ-19М-01, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ**

*О.Г. Девойно, д-р т.н., проф., Н.И. Луцко, науч. сотр., А.С. Лапковский, мл. науч. сотр.*

*Белорусский национальный технический университет*

*220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (017) 331-00-45*

*E-mail: nilucko@tut.by*

В последние годы в связи с резким увеличением потребности промышленности в высокоизносостойких материалах все больше возрастает роль композиционных материалов. В этом смысле большой интерес может представлять лазерная наплавка, как инструмент создания композиционных полосчатых покрытий из разнородных металлических материалов. Такие покрытия характеризуются не только высокой износостойкостью, но и анизотропией износостойкости и физико-механических свойств в разных направлениях относительно наплавляемых валиков [1, 2].

В данной работе изучалось распределение элементов в композиционном полосчатом покрытии, полученном методом лазерной наплавки чередованием валиков из самофлюсующегося сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01. Химический состав исходных порошков приведен в таблице 1.

Таблица 1

Марка	Химический состав наплавлявшихся порошков									
	Содержание компонентов, % (по массе)									
	Cr	B	Si	Fe	C	Ni	Co	Cu	W	Al
ПГ-12Н-01	8-14	1,7-2,5	1,2-3,2	1,2-3,2	0,3-0,6	Основа	-	-	-	-
ПГ-19М-01	-	-	-	До 4	-	-	-	Основа	-	8,5-10,5

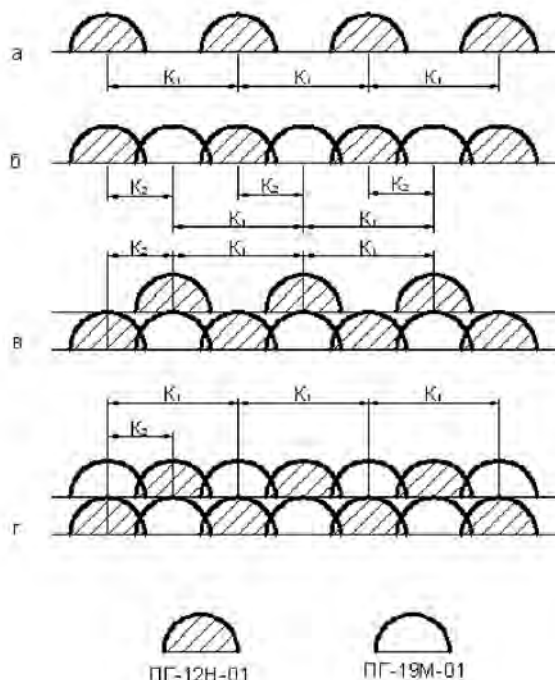


Рис. 1. Схема наплавки двухслойного композиционного покрытия:  
а- первый этап; б- второй этап; в- третий этап; г- четвертый этап

Покрyтия наносились на технологическом комплексе на базе CO<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия типа «Комета» и системы числового программного управления на образцы из стали 45, предварительно подвергнутые дробеструйной обработке. Наплавка композиционного полосчатого покрытия ве-

лась в четыре этапа. Схема наплавки композиционного покрытия приведена на рис. 1. После наплавки образцы разрезались в направлении перпендикулярном валикам наплавки, и заливались в оправки, после чего шлифовались и полировались. На полученных образцах проводилось исследование содержания элементов в валиках самофлюсующегося сплава и бронзы в композиционном покрытии.

Данные исследования осуществлялись на аттестованном сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором «INCA Energy 350» фирмы «Oxford Instruments Analytical» (Великобритания). Погрешность метода составляла 3-5 относительных процентов. Определялось содержание элементов в валиках самофлюсующегося сплава и бронзы в композиционном полосчатом покрытии в зависимости от скорости наплавки сплава/бронзы. Полученные данные представлены на рис. 2 и 3.

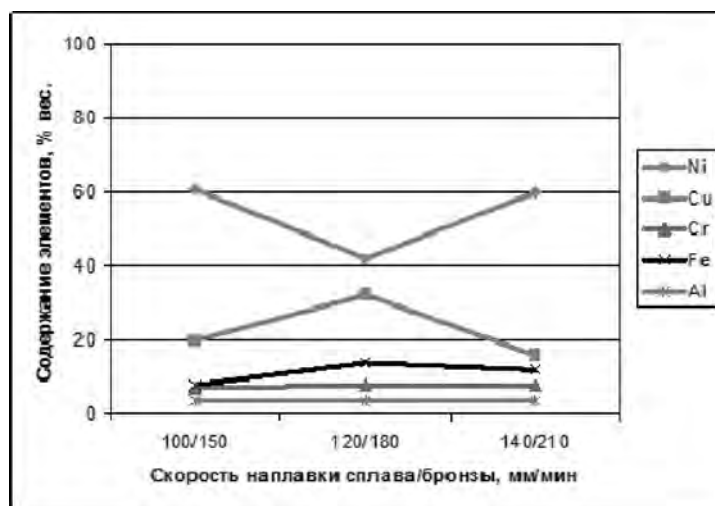


Рис. 2. Зависимость содержания элементов в бронзовой составляющей двухслойного композиционного покрытия от скорости наплавки

Проведенные исследования показали, что из-за интенсивного перемешивания материалов композиционного покрытия в ванне расплава происходит достаточно большая диффузия элементов фаз композиционного покрытия друг в друга. При этом области самофлюсующегося сплава и бронзы в композиционном покрытии по своему составу сильно отличаются от состава исходных материалов (таблица 1). Так медь из бронзы интенсивно проникает в самофлюсующийся сплав, в то же время никель и хром из самофлюсующегося сплава интенсивно диффундируют в бронзу.

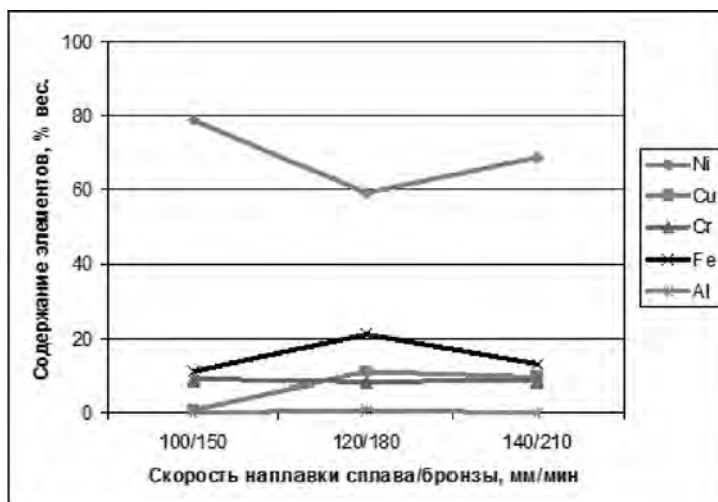


Рис. 3. Зависимость содержания элементов в самофлюсующемся сплаве двухслойного композиционного покрытия от скорости наплавки

Содержание меди в фазе самофлюсующегося сплава в композиционном покрытии доходит до 10%, в то время как в порошке сплава ПГ-12Н-01 она отсутствует. Содержание никеля в этой фазе композиционного покрытия составляет 60-78%, хотя в порошке этого сплава содержание никеля составляет 80%, содержание хрома также меньше значений приведенных в таблице 1. В фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия за счет диффузии из основы наблюдается большое содержание железа – 12-21%, против 1,2-3,2% в порошке сплава ПГ-12Н-01. Алюминий из фазы бронзы практически не проникает в фазу самофлюсующегося сплава.

В фазе бронзы композиционного покрытия содержание меди составляет всего 18-33%, тогда как в порошке бронзы меди 90%. В то же время содержание никеля в фазе бронзы доходит до 42-60%, содержание хрома – до 8%, а содержание железа – до 8-15%, хотя в порошке бронзы эти элементы отсутствуют. Содержание алюминия в фазе бронзы соответствует данным таблицы 1.

Сравнивая распределение элементов при разных скоростях лазерной наплавки, можно заметить некоторое влияние скорости наплавки на содержание элементов как в бронзовой составляющей (рис. 2), так и в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия (рис. 3).

Из рис. 2 видно, что при увеличении скорости наплавки сплава/бронзы со 100/150 мм/мин до 120/180 мм/мин в бронзовой составляющей композиционного покрытия количество никеля уменьшается, но в то же время возрастает количество меди и железа. При дальнейшем увеличении скорости наплавки до 140/210 мм/мин количество никеля в бронзовой составляющей вновь увеличивается, а количество меди и железа – уменьшается. Содержание хрома и алюминия в бронзовой составляющей практически не зависит от скорости наплавки.

На рис. 3 можно заметить, что при увеличении скорости наплавки сплава/бронзы со 100/150 мм/мин до 120/180 мм/мин в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия количество никеля уменьшается, а количество меди и железа увеличивается как и в фазе бронзы. С увеличением скорости наплавки до 140/210 мм/мин содержание никеля в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия возрастает, содержание же железа и меди уменьшается аналогичным образом. Содержание хрома и алюминия в фазе самофлюсующегося сплава композиционного покрытия как и в предыдущем случае от скорости наплавки не зависит.

Такой характер зависимостей связан скорее всего со сложными процессами нагрева – охлаждения происходящими с изменением скорости наплавки при нанесении многослойных композиционных покрытий, в том числе при повторных нагревах-охлаждениях при наплавке соседних валиков и слоев. Действующими факторами в данном случае могут являться величина энерговклада в покрытие, величина экранирования излучения лазера аэрозолями наплавляемых металлов, а также соотношение теплоемкостей компонентов многослойного композиционного покрытия.

Литература.

1. О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, Н.И. Луцко, О.Н. Кавальчук. – Формирование однослойных композиционных полосчатых покрытий из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01, получаемых лазерной наплавкой. – Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки/ редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2013. – 616 с.: ил., С. 177-184.
2. О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, Н.И. Луцко, А.С. Лапковский, О.Н. Кавальчук. – Формирование двухслойных композиционных покрытий из сплава ПГ-12Н-01 и бронзы ПГ-19М-01, полученных лазерной наплавкой. – Инновационные технологии в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти проф. В.Л. Кирпичева и 45-летию ПГУ, Новополоцк, 29-30 окт. 2013 г./ Полоц. гос. ун-т: под общ. ред. А.И. Гордиенко, В.К. Шелега. – Новополоцк, 2013. – 248 с., С. 126-130.

## СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА

*Б.В. Дампилов, к.т.н., доц., А.М. Толстокулаков, студент,  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56  
E-mail: Ist.Jimmy@mail.ru*

**Аннотация.** В настоящей работе представлены результаты исследования влияния импульсной электронной обработки и последующего отжига на структуру и твердость покрытий из хромо-ванадиевого чугуна. Покрытия были получены методом электронно-лучевой наплавки на подложке из малоуглеродистой стали. После шлифования поверхности покрытий были обработаны локально